Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 1, Spring. 2018, p. 203-216

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، ص. ۲۱۶-۲۰۳

واکنش چند رقم گندم نان به محلول‌پاشی فرم‌های مختلف روی و آهن در دو منطقه با خاک متفاوت

الیاس آرزمجو[1*]- محمد علی بهدانی[2]- سهراب محمودی[3]- بهزاد صادق‌زاده[4]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۵/۱۰/۲۸
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۶/۰۴/۲۱

چکیده

روی (Zn) و آهن (Fe) از عناصر ریزمغذی ضروری برای رشد گیاه و انسان هستند و کمبود آن‌ها در رژیم غذایی، یک مشکل بزرگ تغذیه‌ای در دنیا به‌حساب می‌آید. به منظور بررسی اثر محلول‌پاشی فرم‌های مختلف روی و آهن بر اجزای عملکرد، صفات فنولوژیک، مورفولوژیک و عملکرد دانه برخی ارقام گندم در دو منطقه با خصوصیات خاک متفاوت، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ به اجرا درآمد. عوامل مورد بررسی عبارت بودند از: ارقام گندم (شامل روشن و بک‌کراس روشن (ارقام قدیمی)، بم و افق (ارقام جدید))، مصرف روی در سه سطح محلول‌پاشی با آب (شاهد)، سولفات‌روی و کلات‌روی و مصرف آهن نیز در سه سطح محلول‌پاشی با آب (شاهد)، سولفات‌آهن و کلات‌آهن (معادل ۲/۵ کیلوگرم در هکتار). نتایج نشان داد که ارقام جدید از ارتفاع و طول پدانکل کم‌تر و طول دوره پر شدن دانه، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و شاخص برداشت بیشتری برخوردار بودند. محلول‌پاشی روی و آهن منجر به بهبود خصوصیات رشدی و عملکرد دانه شد و محلول‌پاشی سولفات‌روی و سولفات‌آهن در هر دو منطقه مورد بررسی (به‌خصوص در منطقه امیرآباد با شوری و pH بیشتر خاک) نتیجه بهتری در مقایسه با فرم کلاته این عناصر داشت. درنهایت با توجه به نتایج این تحقیق، کشت ارقام جدید بم و افق و محلول‌پاشی فرم‌های سولفاته روی و آهن برای تولید گندم در شرایط اقلیمی مشابه توصیه می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: اجزای عملکرد، شوری، عملکرد دانه، عناصر ریزمغذی

مقدمه

گندم‌های (*Triticum aestivum* L.) رشد کرده در خاک‌های فقیر از نظر روی و آهن، عملکرد دانه پایینی تولید کرده و محتوی روی و آهن اندکی دارند. بیش از ۴۰ درصد اراضی زیر کشت گندم دچار کمبود شدید روی و ۳۷ درصد این اراضی دچار کمبود شدید آهن هستند و میزان کمبود روی در خاک‌های ایران نیز ۸۰ درصد است (Alloway, 2008). خاک‌های بسیاری از نواحی کشور ما نیز آهکی بوده و دارای pH بالا و ماده آلی پایین می‌باشند و بروز کمبود روی و آهن در آن‌ها بسیار رایج است. این کمبود فراگیر روی و آهن در خاک‌های ایران باعث کاهش غلظت این عناصر در گیاهان زراعی شده و درنتیجه کمبود این عناصر در دام‌ها و انسان‌ها را موجب شده است (Malakouti, 2007). کمبود عناصر ریزمغذی، بیش از نیمی از جمعیت دنیا به‌ویژه زنان و کودکان را در برمی‌گیرد. مقدار عنصر روی و آهن توصیه‌شده مجاز در رژیم غذایی انسان به‌ترتیب ۱۵ و ۱۰ میلی‌گرم در روز است (Fang *et al.*, 2008). آهن یکی از مهم‌ترین ریزمغذی‌ها است که حدود ۲ میلیارد نفر از جمعیت دنیا از فقر آن رنج می‌برند و این موضوع عامل اصلی کم‌خونی نیز به‌شمار می‌رود (Stein, 2010). کمبود روی نیز بسیار شایع بوده و نوزادان تازه متولد شده، کودکان و زنان باردار و افراد مسن بیشتر دچار کمبود آن هستند (Salgueiro *et al.*, 2006). کمبودهای این عناصر، دو عامل اصلی بیماری در کشورهای کم‌درآمد بوده و جمعاً بیش از سه میلیارد نفر از جمعیت دنیا دچار کمبود آهن و روی بوده و این عدد همچنان رو به افزایش است (Welch and Graham, 2004).

عناصر کم‌مصرف روی و آهن برای فعالیت‌های متابولیکی در گیاهان ضروری هستند (Alloway, 2008). روی نقش بسیار مهمی در سنتز پروتئین و کربوهیدرات‌ها، اعمال متابولیکی سلول، محافظت غشاء در برابر رادیکال‌های آزاد اکسیژن و سایر فرآیندهای مرتبط با سازگاری گیاهان به تنش‌ها دارد و در سنتز پروتئین‌ها و هورمون‌های گیاهی نظیر اکسین به‌کار نیز می‌رود. از دیگر نقش‌های روی می‌توان

۱، ۲ و ۳- به‌ترتیب دانشجوی دکتری، استاد و دانشیار گروه زراعت و اصلاح‌نباتات، دانشگاه بیرجند
۴- دانشیار، موسسه تحقیقات کشاورزی دیم کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، مراغه، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: Elias.arazmjo@Gmail.com)
DOI: 10.22067/gsc.v16i1.61570

به تنظیم میزان بازبودن روزنه‌ها، فعالیت آنزیم کربنیک‌آنهیدراز، ساخته‌شدن تریپتوفان، مشارکت در متابولیسم نیتروژن، جزء فلزی آنزیم‌های مختلف و یا به‌عنوان یک کوفاکتور عاملی، ساختاری یا تنظیمی، اشاره کرد (Sadeghzadeh and Rengel, 2011). کمبود روی در خاک‌ها به‌خصوص در نواحی خشک و نیمه‌خشک به‌عنوان یک عامل محدودکننده‌ی تغذیه‌ای محسوب می‌شود (Sadeghzadeh, 2013)، که برای جبران این کمبود راهکارهای مختلفی از جمله محلول‌پاشی روی پیشنهاد شده است. آهن نیز از عناصر ضروری برای رشد سلول‌های گیاهی، توسعه سلول‌های مختلف مربوط به فتوسنتز و تنفس می‌باشد. آهن در تعدادی از آنزیم‌ها و عوامل کاهش‌دهنده در فرآیندهای اصلی مربوط به سوخت و ساز گیاه شامل فتوسنتز، تنفس، حفاظت سلولی، تثبیت نیتروژن و بسیاری از روابط دیگر به‌عنوان عامل همراه نقش دارد (Barton and Abadia, 2006). فعالیت بسیاری از سیستم‌های آنزیمی و ترکیبات گیاهی مانند کاتالاز، سیتوکروم، هماتین، هم و سیتوکروم اکسیداز به‌طور قابل‌ملاحظه‌ای با کمبود آهن کاهش می‌یابد. همچنین به نظر می‌رسد که آهن نقش مهمی در متابولیسم اسید نوکلئیک کلروپلاست‌ها و سنتز کلروفیل داشته باشد و عدم حضور آن باعث ایجاد کلروز در گیاه می‌شود. آهن بخشی از گروه کاتالیزوری بسیاری از آنزیم‌های اکسیداسیون و احیا بوده و عنصری ضروری برای سنتز کلروفیل است (Barton and Abadia, 2006).

به دلیل کارایی بالای انتقال روی در آوندهای آبکش گندم (Haslett *et al.*, 2001)، محلول‌پاشی روی مؤثرترین روش برای بهبود غلظت روی در دانه شناسایی شده که می‌تواند بسته به نوع خاک و شرایط اقلیمی، غلظت آن را دو تا سه برابر افزایش دهد (Cakmak, 2008). سه نوع ترکیب مختلف به‌عنوان کودهای روی مورد استفاده قرار می‌گیرند که شامل ترکیبات غیرآلی، کلات‌های سنتزی و کمپلکس‌های آلی طبیعی هستند؛ این ترکیبات به‌طور قابل‌توجهی از نظر مقدار روی، قیمت و میزان اثرگذاری بر گیاهان زراعی در انواع مختلف خاک‌ها با یکدیگر متفاوتند. منابع غیرآلی روی شامل اکسید روی (ZnO)، کربنات‌روی ($ZnCO_3$)، سولفات‌روی ($ZnSO_4$)، نیترات‌روی ($Zn(NO_3)_2$) و کلرید روی ($ZnCl_2$) هستند که سولفات‌روی رایج‌ترین آن‌هاست و در سراسر دنیا مورد استفاده قرار می‌گیرد. لیگاندهای کلات‌کننده سنتزی مورد استفاده برای روی نیز شامل EDTA، DTPA و HEDTA هستند که البته EDTA تا به امروز گسترده‌ترین کاربرد را دارد (Alloway, 2008).

فرم‌های مختلف کلاته و غیرآلی از کودهای حاوی آهن از جمله FeSO4، FeEDTA، FeDTPA، FeEDDHA، Fe-citrate و FeIDHA وجود دارند. با این وجود، اثربخشی ترکیبات آهن برای غلبه بر کمبود آن به میزان زیادی به پایداری آن‌ها، توانایی نفوذ از طریق کوتیکول برگ و قابلیت جابه‌جایی آن‌ها متعاقب انتشار به درون بافت برگ دارد (Fernandez *et al.*, 2009; Rodriguez-Lucena *et al.*, 2010). در مقایسه‌ای بین ارقام مختلف گندم بهاره از لحاظ پاسخ به کوددهی آهن (بدون مصرف و مصرف ۲۰ کیلوگرم سکوسترین آهن در هکتار) در یک خاک آهکی گزارش گردیده است که در اثر مصرف ۲۰ کیلوگرم سکوسترین آهن، عملکرد دانه حدود ۱۴ درصد افزایش یافت و عملکرد دانه در همه ارقام گندم مورد مطالعه به جز رقم روشن افزایش پیدا کرد (Khoshgoftarmanesh *et al.*, 2012). بررسی اثر محلول‌پاشی آهن و روی در بهبود خصوصیات کمی و کیفی دانه سه رقم گندم نشان داد که محلول‌پاشی آهن و روی، افزایش معنی‌دار عملکرد دانه، تعداد پنجه بارور، میزان پروتئین، روی، آهن و منگنز دانه را به دنبال داشت (Maralian *et al.*, 2009). مصرف عناصر ریز مغذی آهن و روی باعث افزایش ارتفاع و طول سنبله گندم شده است (Seilsepour, 2003). محلول‌پاشی آهن همچنین موجب افزایش معنی‌دار تعداد سنبله در متر مربع و عملکرد دانه گندم شده است (Izedi Kherameh *et al.*, 2012).

خاک یک سیستم پیچیده و پویاست که از اجزا و ترکیبات گوناگونی تشکیل شده است. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک به دلیل نقش مهمی که در حمایت از رشد گیاه دارد، حائز اهمیت است. این خصوصیات، تعیین‌کننده چگونگی اثر متقابل گیاه با خاک، جذب آب و مواد غذایی، نفوذ ریشه‌ها، دمای خاک و فعالیت میکروارگانیسم‌های خاکزی می‌باشد. علاوه بر کاربرد کود، می‌توان از پتانسیل ژنتیکی گیاهان کارا در جذب و تجمع روی برای حل مشکل کمبود روی در خاک بهره‌برداری نمود. در بررسی ژنوتیپ‌های جو در پنج خاک مختلف از نظر بافت و pH، جمع‌آوری شده از مناطق مختلف استرالیای غربی، گزارش گردید که واکنش ژنوتیپ کارا از نظر جذب و تجمع روی در اندام‌هوایی و بذر در خاک‌های مختلف پایدار بود (Sadeghzadeh *et al.*, 2016). اختلاف بین گونه‌های غلات و بین ارقام یک گونه در پاسخ به کمبود روی گزارش شده است (Sadeghzadeh and Rengel, 2009). گندم از غلاتی است که در آن اختلاف در پاسخ ارقام نسبت به کود روی زیاد است. در آزمایشی در ۲۵ محل مختلف با تیمارهای روی، آهن، منگنز و مس مشخص گردید که تیمارهای حاوی روی به‌طور معنی‌داری باعث افزایش عملکرد دانه گندم (۱۵٪)، وزن هزار دانه، تعداد دانه در سنبله و محتوی روی و پروتئین دانه شدند (Ziaeian and Malakouti, 2001). ارزیابی کارایی روی در ارقام متفاوت گندم در یک خاک آهکی دچار کمبود روی حاکی از آن بود که علائم کمبود روی از قبیل ظهور لکه‌های کم‌رنگ و نکروزه و کاهش ارتفاع بوته در ارقام الوند و مهدوی بیشتر بود (Moshiri *et al.*, 2010).

مطالعات در زمینه اثربخشی فرم‌های مختلف روی و آهن بر عملکرد و صفات زراعی ارقام گندم نان جدید در مقایسه با ارقام

قدیمی در خاک‌های مناطق مختلف ایران خیلی محدود است. بنابراین هدف اصلی از این آزمایش، بررسی محلول‌پاشی آهن و روی از فرم‌های مختلف بر واکنش چند رقم گندم نان قدیمی و جدید در دو منطقه با خصوصیات خاک متفاوت بوده است.

مواد و روش‌ها

به‌منظور ارزیابی تأثیر محلول‌پاشی فرم‌های مختلف عناصر ریزمغذی روی و آهن بر عملکرد و خصوصیات فنولوژیک و مورفولوژیک ارقام قدیم و جدید گندم نان، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح پایه بلوک‌های کامل تصادفی با سه تکرار و در دو منطقه با خصوصیات خاک متفاوت طی سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ انجام گردید. ارقام مورد استفاده در این آزمایش چهار رقم گندم نان شامل: روشن و بک‌کراس روشن (ارقام قدیمی)، بم و افق (ارقام جدید) بودند. مصرف روی در سه سطح شامل شاهد (محلول‌پاشی با آب آبیاری) و محلول‌پاشی سولفات‌روی ($ZnSO4.7H_2O$) و کلات‌روی (ZeEDTA) و مصرف آهن نیز در سه سطح شامل شاهد (محلول‌پاشی با آب آبیاری) و محلول‌پاشی سولفات‌آهن ($FeSO4.7H_2O$) و کلات‌آهن (FeEDDHA) انجام شد. سولفات‌روی و کلات‌روی به‌ترتیب حاوی ۲۴ و ۱۴ درصد روی خالص و سولفات‌آهن و کلات‌آهن به‌ترتیب حاوی ۱۹ و ۶ درصد آهن خالص بودند. تیمارهای محلول‌پاشی معادل ۲/۵ کیلوگرم در هکتار از منابع ذکر شده بودند (Yang *et al.*, 2011). لازم به ذکر است اسیدیته محلول‌های مورد نظر جهت محلول‌پاشی در هر منطقه، با استفاده از NaoH یک دهم نرمال (برای سولفات روی و سولفات آهن) و Hcl یک دهم نرمال (برای کلات روی و کلات آهن) خنثی گردید. نمونه‌برداری از عمق ۳۰-۰ سانتی‌متری خاک محل‌های آزمایش برای تعیین خصوصیات فیزیکی و شیمیایی و میزان مورد نیاز کودهای اوره، سولفات‌پتاسیم و سوپرفسفات‌تریپل انجام شد. آزمایش اول در منطقه امیرآباد و در مزرعه تحقیقاتی دانشکده کشاورزی بیرجند با بافت خاک لومی‌رسی‌شنی (واقع در ۵ کیلومتری جاده بیرجند-کرمان با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۶ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۳ دقیقه شرقی، ارتفاع ۱۴۸۰ متر از سطح دریا) انجام گردید. آزمایش دوم در منطقه محمدیه و در مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان خراسان‌جنوبی با بافت خاک لومی (واقع در ۲۰ کیلومتری جاده بیرجند- کرمان با عرض جغرافیایی ۳۲ درجه و ۵۲ دقیقه شمالی، طول جغرافیایی ۵۹ درجه و ۱۲ دقیقه شرقی، ارتفاع ۱۴۹۱ متر از سطح دریا) انجام گردید. خصوصیات فیزیکی و شیمیایی خاک هر دو محل در جدول ۱ آورده شده است. هر دو زمین محل اجرای آزمایش در سال قبل به‌صورت آیش بود. عملیات تهیه بستر شامل شخم پاییزه، دیسک و لولر در اوایل مهر ماه انجام گردید. کاشت به کمک دستگاه بذرکار مخصوص آزمایش‌های غلات روی دو پشته (هر پشته سه ردیف به فاصله ۲۰ سانتی‌متر) و به طول ۵ متر به مساحت ۶ متر مربع با ۱/۵ متر فاصله بین تکرارها انجام گردید. کاشت در هر دو منطقه در سال زراعی ۹۵-۱۳۹۴ و در تاریخ‌های ۱۶ و ۱۷ آبان انجام گردید. میزان بذر برای کاشت ۵۰۰ دانه در متر مربع و بر اساس وزن هزار دانه ارقام مورد بررسی منظور شد. علف‌های هرز در اواسط فروردین ماه به‌صورت دستی وجین شدند. محلول‌پاشی تیمارهای مورد نظر در دو مرحله شامل طویل‌شدن ساقه‌ها و ابتدای گلدهی و جهت جلوگیری از سوختگی برگ‌ها، صبح زود انجام شد.

صفات مورفولوژیک، فنولوژیک، عملکرد دانه و اجزای عملکرد شامل تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدگی فیزیولوژیک، طول دوره پر شدن دانه، ارتفاع بوته، طول سنبله، طول پدانکل، تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه، زیست‌توده و شاخص برداشت یادداشت‌برداری و اندازه‌گیری شدند. قبل از برداشت برای اندازه‌گیری ارتفاع بوته، طول سنبله و طول پدانکل، تعداد پنج بوته به‌طور تصادفی انتخاب و به کمک خط‌کش اندازه‌گیری بر روی ساقه اصلی انجام شد. جهت تعیین زیست‌توده، گیاهان کل کرت با رعایت اثر حاشیه برداشت و توزین گردید، سپس بوجاری و عملکرد دانه آنها نیز ثبت شد. برای اندازه‌گیری تعداد دانه در سنبله، در مرحله رسیدگی فیزیولوژیک از تعداد ۵ بوته نمونه‌برداری از سنبله‌ها انجام و پس از بوجاری، تعداد دانه در سنبله میانگین‌گیری گردید. برای وزن هزار دانه نیز دو دسته ۱۰۰۰ تایی از هر کرت شمارش و وزن هزار دانه آن‌ها به ثبت رسید.

داده‌های جمع‌آوری شده از دو منطقه با استفاده از نرم‌افزار آماری SAS و پس از انجام آزمون بارتلت، جهت اطمینان از همگنی واریانس خطای صفات مورد بررسی، بر اساس آزمایش فاکتوریل در قالب طرح بلوک‌های کامل تصادفی مورد تجزیه مرکب قرار گرفت. مقایسه میانگین‌ها نیز بر اساس آزمون LSD محافظت‌شده در سطح احتمال پنج درصد انجام گردید.

نتایج و بحث

نتایج حاکی از تأثیر معنی‌دار منطقه بر صفات تعداد روز تا ظهور سنبله و رسیدگی، طول دوره پر شدن دانه، ارتفاع بوته، طول پدانکل و طول سنبله بود. به‌علاوه ارقام مورد بررسی نیز از نظر تعداد روز تا ظهور سنبله، طول دوره پر شدن دانه، ارتفاع بوته، طول پدانکل و طول سنبله اختلاف معنی‌داری با یکدیگر داشتند. محلول‌پاشی روی اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته و طول سنبله، و محلول‌پاشی آهن نیز تنها اثر معنی‌داری بر ارتفاع بوته گندم داشت. تعداد روز تا ظهور سنبله و ارتفاع بوته تحت تأثیر اثر متقابل منطقه در رقم قرار گرفت و اثرات

متقابل منطقه در آهن و منطقه در رقم در آهن بر طول سنبله معنی‌دار بودند (جدول ۲). مقایسه میانگین داده‌ها حاکی از کاهش به‌ترتیب ۴/۵، ۶/۱ و ۹/۸ درصدی تعداد روز تا ظهور سنبله، تعداد روز تا رسیدگی و طول دوره پر شدن دانه در منطقه امیرآباد در مقایسه با محمدیه بود (جدول ۳) که احتمالاً pH بالاتر و شوری بیشتر خاک امیرآباد دلیل این کاهش بوده است. در شرایط تنش شوری، طول دوره رویشی و زایشی ژنوتیپ‌های گندم کاهش یافته و باعث زودرسی آن‌ها می‌گردد (Munns and James, 2003). همچنین نتایج حاکی از کاهش به‌ترتیب ۱۷/۶، ۱۰/۵ و ۴/۸ درصدی ارتفاع بوته، طول سنبله و طول پدانکل در امیرآباد (با شوری و pH بالاتر خاک) نسبت به محمدیه بود (جدول ۳). کاهش معنی‌دار ارتفاع بوته و طول سنبله با افزایش شوری در گندم گزارش شده است (Haghbahari and Seyyed Sharifi, 2014).

جدول ۱- نتایج تجزیه فیزیکی و شیمیایی خاک محل‌های مورد نظر

Table 1– The results of physico-chemical analysis of investigated location’s soils

محل Location	شن Sand (%)	سیلت Silt (%)	رس Clay (%)	بافت خاک Soil texture	اسیدیته pH	هدایت الکتریکی EC (dS m^{-1})	فسفر P (ppm)	روی Zn (ppm)	آهن Fe (ppm)	پتاسیم Absorbable K (ppm)	کربن C (%)	ماده آلی O.M. (%)
امیرآباد Amirabad	60.9	18	21.1	لومی‌رسی-شنی Sandy clay loam	8.13	10.8	7.8	0.84	2.81	184	0.09	0.15
محمدیه Mohamadieh	38	42	20	لومی Loam	7.6	4.4	9.1	1.16	4.36	140	0.31	0.54

بیشترین تعداد روز تا ظهور سنبله (۱۰۴/۵ روز) و کمترین طول دوره پر شدن دانه (۳۹/۸ روز) مربوط به رقم روشن بود. کمترین تعداد روز تا ظهور سنبله نیز با میانگین ۱۰۱ روز به رقم افق اختصاص داشت (جدول ۳). به‌طور کلی، ارقام جدید از تعداد روز تا ظهور سنبله کمتر و طول دوره پر شدن دانه بیشتری در مقایسه با ارقام قدیمی برخوردار بودند. همچنین ارتفاع بوته و طول پدانکل ارقام گندم از قدیم به جدید روندی کاهشی و طول سنبله نیز روندی افزایشی داشت. ارتفاع بوته و طول پدانکل رقم روشن به‌طور معنی‌داری نسبت به سایر ارقام بالاتر بود و اختلاف ارتفاع ارقام بم و افق نیز به‌طور مشترک و در یک گروه آماری، کم‌تر بود. از نظر طول سنبله نیز رقم افق و پس از آن رقم بم دارای طول سنبله بیشتری بودند و کم‌ترین طول سنبله نیز به رقم روشن اختصاص داشت (جدول ۳). تاکنون در بیشتر برنامه‌های اصلاحی، گزینش برای ارتفاع بوته کم‌تر صورت گرفته که موجب افزایش مقاومت به خوابیدگی، اختصاص بیشتر زیست‌توده کل به عملکرد دانه و پاسخ مثبت به عملیات مدیریتی نظیر کودپذیری بیشتر را فراهم آورده است (Soufizadeh *et al.*, 2007). کاهش ارتفاع بوته گندم طی زمان در نتیجه مشارکت ژن‌های جدید پاکوتاهی بوده است (Slafer and Araus, 2007).

محلول‌پاشی روی، افزایش معنی‌دار ارتفاع بوته و طول سنبله گندم را به دنبال داشت به گونه‌ای که مصرف سولفات‌روی باعث افزایش ۵/۱ و ۴/۷ درصدی ارتفاع بوته و طول سنبله ارقام گندم در مقایسه با شاهد گردید و اختلاف بین سولفات‌روی و کلات‌روی نیز از این نظر غیر معنی‌دار بود (جدول ۳). در آزمایشی در خصوص تأثیر کاربرد روی، آهن و منگنز بر گندم گزارش شد که کاربرد روی و آهن باعث افزایش طول سنبله گردید (Pahlavan Rad *et al.*, 2008).

محلول‌پاشی آهن نیز افزایش معنی‌دار ۶/۸ درصدی ارتفاع بوته در تیمار سولفات‌آهن را در مقایسه با شاهد به دنبال داشت ضمن اینکه اختلاف بین فرم‌های سولفاته و کلاته آهن نیز با یکدیگر معنی‌دار نبود (جدول ۳). برتری ارتفاع بوته در شرایط کاربرد آهن می‌تواند به دلیل تأمین مقادیر کافی آهن قابل‌دسترس گیاه و نقش این عنصر در سنتز کلروفیل جهت افزایش فتوسنتز در زمان رشد رویشی گیاه باشد (Barton and Abadia, 2006). در بررسی اثرات تغذیه آهن بر رشد گیاه گندم گزارش شده است که ارتفاع بوته با کاربرد آهن افزایش می‌یابد (Khoshgoftarmanesh *et al.*, 2012).

بررسی اثر متقابل منطقه در رقم برای صفت تعداد روز تا ظهور سنبله حاکی از آن بود که بیشترین تعداد روز تا ظهور سنبله با ۱۰۷/۴ روز مربوط به رقم روشن در منطقه محمدیه بود و بین ارقام بک‌کراس روشن، بم و افق از این نظر اختلاف معنی‌داری در این منطقه وجود نداشت. ضمن این‌که کمترین تعداد روز تا ظهور سنبله مربوط به ارقام بک‌کراس روشن و افق بود (جدول ۴). همچنین اثر متقابل منطقه در رقم بر ارتفاع بوته نشان داد که رقم روشن در هر دو منطقه محمدیه (۱۱۱ سانتی‌متر) و امیرآباد (۹۰/۳ سانتی‌متر) بیشترین ارتفاع بوته را

داشت و کمترین ارتفاع بوته نیز مربوط به رقم افق در امیرآباد (۶۷/۷ سانتی‌متر) بود (جدول ۴).

جدول ۲- تجزیه واریانس صفات ارقام گندم در شرایط محلول‌پاشی روی و آهن در دو منطقه با خاک مختلف

Table 2- Analysis of variance of wheat cultivars investigated traits under foliar application of Zn and Fe in two different locations with different soils

منابع تغییر S.O.V		درجه آزادی df	Mean squares میانگین مربعات										
			روز تا ظهور سنبله Day to heading	روز تا رسیدگی Day to maturity	طول دوره پرشدن دانه Grain filling period	ارتفاع بوته Plant height	طول سنبله Spike length	طول پدانکل Peduncle length	تعداد دانه در سنبله No. Grain per spike	وزن هزار دانه 1000 grains weight	عملکرد دانه Grain yield	زیست‌توده Biomass	شاخص برداشت HI
Location	منطقه	1	1227.89**	4555.85**	1053.37*	13787.22*	58.28**	169.07*	1183.79 ns	1154.78*	189.58**	1034.19**	387.10**
r(Location)	بلوک داخل منطقه	4	31.62	9.29	49.97	806.60	1.39	21.37	157.17	54.93	4.34	23.30	14.34
Cultivar	رقم	3	121.07**	18.20 ns	187.01**	7965.13**	2.23**	1142.87**	898.32**	333.06**	1.80**	1.52 ns	240.83**
Zn	روی	2	1.19 ns	1.28 ns	2.18 ns	353.96**	3.80**	29.11 ns	391.79**	109.42*	2.93**	15.80**	21.44 ns
Fe	آهن	2	0.89 ns	3.01 ns	4.34 ns	591.71**	0.97 ns	23.96 ns	125.58 ns	8.57 ns	3.07**	8.44 ns	73.94 ns
Cultivar*Zn	رقم×روی	6	2.60 ns	0.52 ns	2.26 ns	45.12 ns	0.46 ns	24.52 ns	86.31 ns	30.18 ns	0.09 ns	1.91 ns	11.44 ns
Cultivar*Fe	رقم×آهن	6	3.20 ns	2.06 ns	5.63 ns	54.90 ns	0.39 ns	12.88 ns	132.10 ns	37.47 ns	0.75 ns	5.07 ns	5.38 ns
Zn*Fe	روی×آهن	4	1.26 ns	0.63 ns	2.52 ns	46.66 ns	0.40 ns	8.16 ns	50.84 ns	20.82 ns	1.53**	10.07*	2.88 ns
Location*Cultivar	منطقه×رقم	3	18.94*	1.93 ns	21.39 ns	154.93*	0.46 ns	7.00 ns	511.13**	72.45 ns	0.12 ns	1.31 ns	0.65 ns
Location*Zn	منطقه×روی	2	0.61 ns	1.83 ns	3.93 ns	8.77 ns	0.11 ns	1.00 ns	42.87 ns	5.32 ns	0.39 ns	3.72 ns	0.82 ns
Location*Fe	منطقه×آهن	2	0.47 ns	1.68 ns	0.84 ns	113.80 ns	1.23*	2.34 ns	19.66 ns	6.03 ns	0.50 ns	3.01 ns	5.94 ns
Location*Cultivar*Zn	منطقه×رقم×روی	6	0.55 ns	0.62 ns	0.62 ns	46.31 ns	0.20 ns	11.37 ns	45.83 ns	26.35 ns	0.49 ns	3.15 ns	2.20 ns
Location*Cultivar*Fe	منطقه×رقم×آهن	6	2.02 ns	0.30 ns	2.59 ns	47.85 ns	0.82*	30.35 ns	22.69 ns	16.52 ns	0.78 ns	7.38*	5.83 ns
Location*Zn*Fe	منطقه×روی×آهن	4	2.65 ns	2.31 ns	6.90 ns	27.45 ns	0.12 ns	13.93 ns	55.18 ns	18.58 ns	0.47 ns	4.29 ns	7.56 ns
Location*Cultivar*Zn*Fe	منطقه×رقم×روی×آهن	24	2.67 ns	0.96 ns	3.17 ns	48.17 ns	0.34 ns	11.27 ns	47.31 ns	32.92 ns	0.32 ns	2.96 ns	10.22 ns
Experiment error	خطای آزمایش	140	5.07	8.82	12.21	56.79	0.34	14.28	62.99	30.71	0.41	3.08	7.11
Coefficient variation	ضریب تغییرات	-	2.2	2.0	8.2	9.1	6.2	10.9	15.5	17.3	16.3	16.1	7.4

* و ** به ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns عدم معنی داری می باشد.

* and ** are significantly different at α=0.05 and α=0.01, respectively and ns is non-significant

جدول ۳- نتایج مقایسه میانگین اثرات منطقه، رقم، روی و آهن بر صفات مورد بررسی

Table 3- Mean comparison results for effects of location, cultivar, Zn and Fe on investigated traits

تیمار Treatment	روز تا ظهور سنبله Day to heading	روز تا رسیدگی Day to maturity	طول دوره پرشدن دانه Grain filling period	ارتفاع بوته Plant height (cm)	طول سنبله Spike length (cm)	طول پدانکل Peduncle length (cm)	تعداد دانه در سنبله No. Grain per spike	وزن هزار دانه 1000 grains weight (g)	عملکرد دانه Grain yield (ton ha^{-1})	زیست‌توده Biomass (ton ha^{-1})	شاخص برداشت HI (%)
منطقه Location											
Mohammadieh محمدیه	104.8	149.5	44.7	90.8	9.91	35.5	53.5	34.4	4.90	13.07	37.6
Amirabad امیرآباد	100.1	140.3	40.3	74.8	8.87	33.8	48.8	29.8	3.02	8.69	34.9
$LSD_{(0.05)}$	2.12	1.15	2.67	10.73	0.44	1.75	4.73	2.80	0.79	1.82	1.43
رقم Cultivar											
Roshan روشن	104.5	144.3	39.8	100.7	9.15	40.9	45.4	35.3	3.72	11.10	33.3
R. Backcross بک‌کراس روشن	101.7	144.6	42.9	79.9	9.33	33.1	51.4	32.6	3.94	10.75	36.5
Bam بم	102.6	145.6	43.0	76.5	9.43	34.6	52.6	30.7	4.03	10.92	36.6
Ofogh افق	101.0	145.2	44.2	74.1	9.64	30.0	55.0	29.7	4.15	10.74	38.4
$LSD_{(0.05)}$	0.85	1.13	1.32	2.87	0.22	1.44	3.01	2.11	0.24	0.67	1.01
محلول‌پاشی روی Zn foliar application											
Irrigation water آب آبیاری	102.6	144.9	42.3	80.3	9.12	34.0	48.5	30.8	3.74	10.42	35.6
$ZnSO_4.7H_2O$ سولفات‌روی	102.4	145.1	42.7	84.4	9.55	35.3	53.0	33.3	4.14	11.35	36.4
Zn-EDTA کلات‌روی	102.3	144.8	42.5	83.7	9.48	34.6	51.8	32.2	4.01	10.86	36.6
$LSD_{(0.05)}$	0.74	0.98	1.15	2.48	0.19	1.24	2.61	1.83	0.21	0.58	0.88
محلول‌پاشی آهن Fe foliar application											
Irrigation water آب آبیاری	102.4	144.7	42.3	79.6	9.27	34.0	49.6	32.3	3.75	10.60	35.1
$FeSO_4.7H_2O$ سولفات‌آهن	102.3	145.1	42.8	85.0	9.50	35.1	52.2	31.7	4.16	11.26	36.9
Fe-EDDHA	102.6	145.0	42.4	83.9	9.39	34.9	51.5	32.2	3.98	10.77	36.7
$LSD_{(0.05)}$	0.74	0.98	1.15	2.48	0.19	1.24	2.61	1.83	0.21	0.58	0.87

جدول ٤- نتایج مقایسه میانگین اثرات متقابل منطقه در رقم، منطقه در آهن و روی در آهن بر صفات مورد بررسی

Table 4- Mean comparison results for interaction effects of location in cultivar, location in Fe and Zn in Fe on investigated traits

منطقه Location	رقم Cultivar	روز تا ظهور سنبله Day to heading	روز تا رسیدگی Day to maturity	طول پرشدن دانه Grain filling period	ارتفاع بوته Plant height (cm)	طول سنبله Spike length (cm)	طول پدانکل Peduncle length (cm)	تعداد دانه در سنبله No. Grain per spike	وزن هزار دانه 1000 grains weight (g)	عملکرد دانه Grain yield (ton ha^{-1})	زیست‌توده Biomass (ton ha^{-1})	شاخص برداشت HI (%)
محمدیه Mohammadieh	Roshan روشن	107.4	149.1	41.7	111.0	9.6	42.0	43.5	39.1	4.60	13.35	34.54
	R. Backcross بک‌کراس روشن	104.2	149.1	44.9	87.7	10.0	34.1	54.0	35.2	4.93	13.03	37.81
	Bam بم	104.1	150.3	46.2	83.9	9.9	35.7	55.9	32.3	5.00	13.18	38.00
	Ofogh افق	103.6	149.6	46.0	80.5	10.1	30.4	60.4	30.9	5.07	12.69	39.88
Amirabad امیرآباد	Roshan روشن	101.6	139.5	37.9	90.3	8.7	39.9	47.4	31.5	2.84	8.84	32.15
	R. Backcross بک‌کراس روشن	99.3	140.2	40.9	72.2	8.7	32.1	48.8	30.1	2.96	8.48	35.14
	Bam بم	101.0	140.9	39.9	69.0	9.0	33.5	49.2	29.0	3.06	8.65	35.25
	Ofogh افق	98.4	140.7	42.4	67.7	9.1	29.7	49.7	28.5	3.24	8.78	36.97
	LSD $_{(0.05)}$	1.21	1.60	1.88	4.05	0.31	2.03	4.27	2.98	0.35	0.94	1.43
منطقه Location	محلول‌پاشی آهن Fe foliar application											
محمدیه Mohammadieh	Irrigation water آب آبیاری	104.7	149.1	44.4	88.4	9.9	34.9	51.5	34.8	4.72	12.87	36.63
	$FeSO_4.7H_2O$ سولفات آهن	104.8	149.7	44.9	93.5	9.9	36.1	54.4	34.1	5.00	13.22	37.94
	Fe-EDDHA	105.0	149.8	44.8	90.4	9.9	35.6	54.4	34.2	4.97	13.11	38.11
Amirabad امیرآباد	Irrigation water آب آبیاری	100.1	140.3	40.1	70.7	8.6	33.1	47.7	29.8	2.78	8.34	33.48
	$FeSO_4.7H_2O$ سولفات آهن	99.9	140.5	40.6	76.4	9.1	34.0	50.0	29.2	3.32	9.31	35.90
	Fe-EDDHA	100.1	140.3	40.1	77.3	8.9	34.2	48.6	30.2	2.98	8.43	35.25
	LSD $_{(0.05)}$	1.05	1.38	1.63	3.51	0.27	1.76	3.70	2.58	0.30	0.82	1.24
محلول‌پاشی روی Zn foliar application	محلول‌پاشی آهن Fe foliar application											
آب آبیاری Irrigation water	Irrigation water آب آبیاری	102.5	144.8	42.4	76.8	8.9	32.9	47.1	31.1	3.32	9.62	34.22
	$FeSO_4.7H_2O$ سولفات آهن	102.5	144.7	42.1	80.5	9.5	35.4	50.1	34.2	3.89	11.04	35.01
	Fe-EDDHA	102.3	144.6	42.3	81.4	9.4	33.7	51.7	31.7	4.04	11.16	35.94
سولفات روی $ZnSO_4.7H_2O$	Irrigation water آب آبیاری	102.3	145.0	42.7	83.8	9.4	34.6	48.6	29.6	4.19	11.49	36.40
	$FeSO_4.7H_2O$ سولفات آهن	102.4	145.4	43.0	86.9	9.6	35.4	55.6	32.7	4.19	11.30	37.25
	Fe-EDDHA	102.3	144.9	42.6	84.2	9.5	35.2	52.4	32.7	4.10	11.00	37.10
کلات روی Zn-EDTA	Irrigation water آب آبیاری	103.0	144.9	41.9	80.3	9.0	34.6	49.8	31.7	3.71	10.14	36.18
	$FeSO_4.7H_2O$ سولفات آهن	102.3	145.2	42.9	85.9	9.6	35.1	53.3	32.9	4.33	11.72	36.96
	Fe-EDDHA	102.5	145.0	42.5	85.4	9.6	35.0	51.4	32.1	3.88	10.44	36.89
	LSD $_{(0.05)}$	1.28	1.69	1.99	4.30	0.33	2.16	4.53	3.16	0.37	1.00	1.52

جدول ۵- نتایج همبستگی ساده بین صفات مورد بررسی

Table 5- Simple correlation results for investigated traits

صفات مورد بررسی Investigated traits	روز تا ظهور سنبله Day to heading (1)	روز تا رسیدگی Day to maturity (2)	طول پرشدن دانه Grain filling period (3)	ارتفاع بوته Plant height (4)	طول سنبله Spike length (5)	طول پدانکل Peduncle length (6)	تعداد دانه در سنبله No. Grain per spike (7)	وزن هزار دانه 1000 grains weight (8)	عملکرد دانه Grain yield (9)	زیست‌توده Biomass (10)	شاخص برداشت Harvest index (11)
(1)	1.00										
(2)	-0.37*	1.00									
(3)	-0.94**	0.66**	1.00								
(4)	0.78**	-0.55**	-0.83**	1.00							
(5)	-0.43**	0.42*	0.50**	-0.26 ns	1.00						
(6)	0.88**	-0.39*	-0.85**	0.88**	-0.30 ns	1.00					
(7)	-0.59**	0.55**	0.68**	-0.53**	0.60**	-0.53**	1.00				
(8)	0.54**	-0.42*	-0.59**	0.62**	-0.28 ns	0.58**	-0.33*	1.00			
(9)	-0.37*	0.33 ns	0.42*	-0.14 ns	0.57**	-0.26 ns	0.64**	-0.28 ns	1.00		
(10)	0.11 ns	-0.06 ns	-0.11 ns	0.32 ns	0.25 ns	0.23 ns	0.29 ns	0.10 ns	0.78**	1.00	
(11)	-0.73**	0.61**	0.81**	-0.62**	0.60**	-0.72**	0.66**	-0.57**	0.59**	-0.03 ns	1.00

* و ** به‌ترتیب معنی دار در سطح احتمال پنج و یک درصد و ns عدم معنی‌داری می‌باشد.

* and ** are significantly different at α=0.05 and α=0.01, respectively and ns is non-significant

مقایسه میانگین اثر متقابل منطقه در آهن بر طول سنبله نیز حاکی از عدم اختلاف معنی‌دار بین تیمارهای مختلف محلول‌پاشی آهن در محمدیه بود به طوری‌که همه در گروه آماری برتر قرار گرفتند. در منطقه امیرآباد (شوری و pH بالاتر خاک) نیز محلول‌پاشی سولفات‌آهن موجب شد ارقام گندم از طول سنبله بیشتری برخوردار باشند (جدول ۴).

بین صفات وزن هزار دانه، عملکرد دانه، زیست‌توده و شاخص برداشت در دو منطقه اجرای آزمایش تفاوت معنی‌داری وجود داشت. ارقام مورد بررسی از نظر تمامی این صفات به جز زیست‌توده اختلاف آماری معنی‌داری با یکدیگر نشان دادند. محلول‌پاشی روی نیز اثر معنی‌داری بر تعداد دانه در سنبله، وزن هزار دانه، عملکرد دانه و زیست‌توده داشت. اثر محلول‌پاشی آهن نیز بر عملکرد دانه معنی‌داری بود. بررسی مقایسه میانگین‌های اثر متقابل حاکی از اثر معنی‌دار روی در آهن بر عملکرد دانه و زیست‌توده، اثر معنی‌دار منطقه در رقم بر تعداد دانه در سنبله و اثر معنی‌دار منطقه در رقم در آهن بر زیست‌توده بود (جدول ۲). بر اساس مقایسه میانگین‌ها، صفات وزن هزار دانه، عملکرد دانه، بیوماس و شاخص برداشت به‌ترتیب ۱۳/۳، ۳۸/۴، ۳۳/۵ و ۷/۱ درصد در منطقه امیرآباد (با شوری و pH بالاتر خاک) در مقایسه با محمدیه کاهش پیدا کردند. تعداد دانه در سنبله نیز ۸/۸ درصد کاهش غیرمعنی‌دار در این منطقه داشت (جدول ۳). یکی از دلایل کاهش تعداد دانه در سنبله در خاک‌های شور، کاهش طول سنبله‌هاست که در این آزمایش نیز مشاهده گردید. کاهش معنی‌دار وزن هزار دانه در خاک شور نیز می‌تواند به دلایل کاهش مواد فتوسنتزی در مرحله پر شدن دانه، کاهش شدت رشد در اثر پتانسیل اسمزی و کاهش طول دوره پر شدن دانه‌ها باشد.

بر اساس نتایج، ارقام جدید گندم از تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و شاخص برداشت بیشتر و وزن هزار دانه نسبتاً کم‌تری در مقایسه با ارقام قدیمی برخوردار بودند. در بین ارقام گندم، رقم افق دارای بیشترین تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و شاخص برداشت و کم‌ترین وزن هزار دانه بود. کم‌ترین تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و شاخص برداشت و بیشترین وزن هزار دانه و زیست‌توده نیز به رقم روشن اختصاص داشت (جدول ۳). علی‌رغم کاهش زیاد ارتفاع بوته، زیست‌توده ارقام گندم نسبت به رقم روشن تغییر چندانی نکرده است و در حقیقت ارقام جدید بر خلاف ارقام قدیم، به جای آن‌که مواد فتوسنتزی تولیدی خود را صرف افزایش شاخ و برگ و به تبع آن ارتفاع نمایند، آن‌ها را به دانه‌ها تخصیص داده و باعث افزایش عملکرد دانه می‌گردند بدون آن‌که تغییری در زیست‌توده نهایی ایجاد شود (Soufizadeh *et al.*, 2014). ارتفاع کم‌تر بوته باعث کاهش خوابیدگی و افزایش شاخص برداشت شده است. افزایش شاخص برداشت و عملکرد دانه ارقام جدید گزارش شده است (Khodarahmi and Vazan, 2011). همچنین در بررسی ارقام معرفی شده گندم نان در شش دهه گذشته گزارش شد که تعداد دانه در سنبله ارقام جدید به‌طور معنی‌داری افزایش داشته و بنابراین ارقام جدید دارای حداکثر کارایی در انتقال مواد غذایی از اندام ساقه به دانه بوده‌اند (Khodarahmi and Vazan, 2011). به‌طور کلی، افزایش عملکرد گندم در طی انقلاب سبز عمدتاً از طریق افزایش تعداد دانه در واحد سطح (ناشی از افزایش تعداد سنبله یا دانه در سنبله) و به هزینه کاهش سهم اندام‌های رقیب (ساقه، پدانکل و غیره) صورت گرفته است (Slafer and Savin, 1994). بر اساس نتایج همبستگی ساده، عملکرد دانه ارتباط مثبت و معنی‌داری با صفات طول دوره پر شدن دانه، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله و شاخص برداشت و ارتباط منفی و معنی‌داری نیز با صفت تعداد روز تا ظهور سنبله داشت (جدول ۵). در دهه‌های اخیر سهم تعداد دانه در واحد سطح در تعیین عملکرد بیشتر بوده و تحقیقات انجام شده نشان می‌دهد که عملکرد دانه همبستگی زیادی با این جزء عملکرد دارد (Slafer and Savin, 1994). Collaku and Harrison (2002) نیز در گندم رابطه مثبت و معنی‌داری را بین شاخص برداشت و عملکرد دانه گزارش کردند که این نتیجه حاکی از آن است که با افزایش عملکرد دانه، نسبت عملکرد اقتصادی به عملکرد بیولوژیک افزایش یافته است. همبستگی عملکرد دانه و زیست‌توده نیز در این آزمایش مثبت و معنی‌دار بود (جدول ۵) و به اعتقاد برخی، افزایش عملکرد دانه در آینده بستگی به افزایش زیست‌توده دارد (Ye *et al.*, 2011). البته سهم هریک از ویژگی‌های یاد شده در عملکرد دانه ممکن است در واریته‌ها، سیستم‌های زراعی، سال‌ها و اقلیم‌های مختلف، متفاوت باشد (Fischer, 2011).

محلول‌پاشی روی از منابع سولفات‌روی و کلات‌روی منجر به افزایش عملکرد دانه و اجزای عملکرد گندم در مقایسه با شاهد گردید اما اختلاف بین این دو از لحاظ آماری معنی‌دار نبود. محلول‌پاشی سولفات‌روی به‌ترتیب باعث افزایش ۱۰/۷ و ۸/۹ درصدی و کلات‌روی باعث افزایش ۷/۲ و ۴/۲ درصدی عملکرد دانه و زیست‌توده در مقایسه با شاهد گردید. تعداد دانه در سنبله و وزن هزار دانه گندم نیز با محلول‌پاشی سولفات‌روی به‌ترتیب ۹/۳ و ۸/۱ درصد در مقایسه با شاهد افزایش نشان دادند (جدول ۳). گزارش‌های متعددی در ارتباط با اثرات مثبت روی بر عملکرد و اجزای عملکرد گیاهان مختلف ارائه شده است (Thalooth *et al.*, 2000; Bukvic *et al.*, 2003). افزایش وزن هزار دانه با کاربرد روی با نتایج محققین مطابقت دارد (Potarzycki and Grzebisz, 2009). در بررسی اثرات مستقیم و باقیمانده منابع روی بر رشد و عملکرد گندم گزارش شده (Dasalkar *et al.*, 1992) که تمامی منابع روی، عملکرد دانه را افزایش دادند. در مطالعه‌ای (Fageria and Baligar, 2005)،

افزایش عملکرد دانه در اثر مصرف روی به نقش آن برای افزایش تولید تنظیم‌کننده‌های رشد مثل ایندول‌استیک‌اسید و کربوهیدرات‌ها و متابولیسم نیتروژن که سبب افزایش عملکرد و اجزای عملکرد می‌شود و همچنین فراهم‌بودن عناصر کم‌مصرف و پر مصرف در مراحل بعدی رشد که سبب افزایش تجمع اسیمیلات‌ها در دانه و سنگین‌تر شدن آن می‌گردد، نسبت داده شده است. همچنین نتایج نشان داد که سولفات‌روی نتایج بهتری در مقایسه با کلات‌روی به دنبال دارد که این موضوع احتمالاً به این دلیل است که سولفات‌روی به‌طور همزمان عناصر روی و سولفور را برای گیاه فراهم می‌کند.

محلول‌پاشی سولفات‌آهن نیز بیشترین عملکرد دانه را با ۴/۱۶ تن در هکتار به خود اختصاص داد و محلول‌پاشی با آب آبیاری نیز با ۳/۷۵ تن در هکتار از عملکرد دانه کم‌تری برخوردار بود ضمن اینکه اختلاف بین دو فرم آهن نیز معنی‌دار نبود. علی‌رغم عدم تأثیر معنی‌دار آهن بر اجزای عملکرد و زیست‌توده، محلول‌پاشی سولفات‌آهن باعث افزایش ۵/۲ درصدی تعداد دانه در بوته و ۶/۲ درصدی زیست‌توده در مقایسه با شاهد گردید (جدول ۳). آهن از طریق افزایش فعالیت فتوسنتزی و تولید مواد پروتئینی و کربوهیدرات‌ها در گیاه می‌تواند باعث افزایش تعداد دانه شود (Yilmaz *et al.*, 1997). افزایش تعداد دانه تحت تأثیر آهن با نتایج سایر محققین در این زمینه مطابقت دارد (Raesee *et al.*, 2015). عنصر آهن در ساخت کلروفیل و انتقال الکترون در فتوسنتز نقش حیاتی دارد و فرودوکسین، پروتئین حامل آهن است که در انتقال الکترون درگیر است (Ahmadi *et al.*, 2005). بنابراین طبیعی است که با افزایش آهن برگ، میزان کلروفیل برگ افزایش یافته، فعالیت فتوسنتزی بیشتر شده و در نهایت افزایش عملکرد را در پی داشته باشد. از طرف دیگر، آهن از طریق افزایش فعالیت فتوسنتزی و تولید مواد پروتئینی و کربوهیدرات‌ها در گیاه می‌تواند وزن خشک گیاه را افزایش دهد (Kamaraki and Galavi, 2012). مقایسه میانگین اثر متقابل روی در آهن نشان داد محلول‌پاشی سولفات‌روی و فرم‌های مختلف آهن و همچنین محلول‌پاشی کلات‌روی و سولفات‌آهن دارای بیشترین عملکرد دانه و زیست‌توده بودند (جدول ۴). مصرف توأم کودهای آهن و روی، میزان عملکرد دانه گندم را به‌طور متوسط ۸۶۷ کیلوگرم افزایش داده است (Seilsepour, 2008). بررسی اثر متقابل منطقه در رقم بر تعداد سنبله نیز نشان داد که بیشترین تعداد دانه در سنبله با ۶۰/۴ دانه مربوط به رقم افق در منطقه محمدیه (شوری کم‌تر خاک) و پس از آن ارقام بک‌کراس روشن و بم در این منطقه بودند و کمترین تعداد دانه نیز مربوط به رقم روشن در هر دو منطقه بود (جدول ۴).

نتیجه‌گیری

نتایج این آزمایش حاکی از تنوع بالای صفات مختلف در بین ارقام مورد بررسی بود. ارقام قدیمی (روشن و بک‌کراس روشن) ارتفاع بوته، طول پدانکل و وزن هزار دانه بیشتری داشتند و در مقابل ارقام جدید (بم و افق) دارای طول دوره پر شدن دانه، طول سنبله، تعداد دانه در سنبله، عملکرد دانه و شاخص برداشت بالاتری بودند. محلول‌پاشی روی و آهن و استفاده توام آن‌ها موجب بهبود خصوصیات مورفولوژیکی، عملکرد دانه و اجزای عملکرد در هر دو منطقه مورد بررسی گردید. با توجه به افزایش عملکرد دانه در شرایط محلول‌پاشی روی و آهن (به خصوص در منطقه امیرآباد با شوری و pH بیشتر خاک)، استفاده از این کودها در زراعت گندم توصیه می‌شود. به طور کلی، نتایج نشان داد که محلول‌پاشی روی و آهن از فرم سولفاته، مؤثرتر از فرم کلاته است. کودهای سولفاته از نظر هزینه نیز مقرون به صرفه‌تر از کودهای کلاته هستند.

References

1. Ahmadi, A., Ehsanzadeh, P., and Jabbari, F. 2005. Introduction to plant physiology. Tehran University Press. 681p. (in Persian).
2. Alloway, B. J. 2008. Zinc in Soils and Crop Nutrition. Int. Zinc Assoc. (IZA), Belgium, 128p.
3. Barton, L. L., and Abadia, J. 2006. Iron nutrition in plants and rhizospheric microorganisms. Dordrecht: Springer. 477p.
4. Bukvic, G., Antunovicm, M., Popovic, S., and Rastija, M. 2003. Effect of P and Zn fertilization on biomass, yield and its uptake by maize lines (*Zea mays* L.). Plant, Soil and Environment 49: 505-510.
5. Cakmak, I. 2008. Enrichment of cereal grains with zinc: agronomic or genetic biofortification? Plant and Soil 302: 1-17.
6. Collaku, A., and Harrison, S. A. 2002. Losses in wheat due to water logging. Crop Sci 42: 444-450.
7. Dasalkar, J. S., Rudraksha, G. B., Law, B. T., and Rachewad, S. N. 1992. Direct and residual effect of different zinc source on growth, yield and quality of sorghum and wheat. Annals of Plant Physiology 6: 21-23.
8. Fageria, N. K. and Baligar, V. C. 2005. Encyclopedia of soils in the environment. In: Hillel D (Eds.), Nutrient Availability. San Diego, CA: Elsevier 63- 71.
9. Fang, Y., Wang, L., Xin, Z., Zhao, L., An, X., and Hu, Q. 2008. Effect of Foliar Application of Zinc, Selenium, and Iron Fertilizers on Nutrients Concentration and Yield of Rice Grain in China. J. Agric. Food Chemistry 56: 2079-2084.

10. Fernandez, V., Orera, I., Abadia, J., and Abadia, A. 2009. Foliar iron fertilization of fruit trees: present knowledge and future perspectives - a review. The Journal of Horticultural Science and Biotechnology 84: 1-6.
11. Fischer, R. A. 2011. Wheat physiology: a review of recent development. Crop and Pasture Science 62: 95-114.
12. Graham, R. D., Ascher, J. S., and Hynes, S. C. 1992. Selecting zinc-efficient cereal genotypes for soils of low zinc status. Plant and Soil 146: 241-250.
13. Haghbahari, M., and Seyyed Sharifi, R. 2014. Influence of seed inoculation with plant growth promoting rhizobacteria (PGPR) on yield, grain filling rate and period of wheat in different levels of soil salinity. Environmental stresses in crop sciences 6 (1): 65-75. (in Persian with English abstract).
14. Haslett, B. S., Reid, R. J., and Rengel, Z., 2001. Zinc mobility in wheat: uptake and distribution of zinc applied to leaves or roots. Annals of Botany 87 (3): 379-386.
15. Izedi Kherameh, H., Balouchi, H., and Shabani, S. 2012. Effect of soil application of Fe and ZnSO4 on grain yield and yield components of wheat at different sowing dates. Plant Ecophysiology 4 (1): 37-46. (in Persian with English abstract).
16. Kamaraki, H., and Galavi, M. 2012. Evaluation of foliar Fe, Zn and B micronutrients application on quantitative and qualitative traits of safflower (*Carthamus tinctorius* L.). Agroecology 4 (3): 201-206. (in Persian with English abstract).
17. Khodarahmi, M., and Vazan, S. 2011. Trends in morphological and quantitative traits in bread wheat using introduced varieties during the last six decades in Iran. Journal of Agronomy and Plant Breeding 6 (1): 29-42. (in Persian with English abstract).
18. Khoshgoftarmanesh, A. H., Razizadeh, E. S., Eshghizadeh, H. R., Sharifi, H. R., Savaghebi, Gh., Afiuni, D., and Tadayonnejad, M. 2012. Comparison of different spring wheat genotypes based on their response to iron fertilization in a calcareous soil. Journal of Water and Soil 15 (58): 99-107. (in Persian with English abstract).
19. Malakouti, M. J. 2007. Zinc is a neglected element in the life cycle of plants. Middle Eastern and Russian Journal of Plant Science and Biotechnology 1 (1): 1-12.
20. Maralian, H., Didar Taleshmikail, R., Shahbazi, K., and Torabi Giglou, M. 2009. Study of the Effects of Foliar Application of Fe and Zn on Wheat Quality and Quantity Properties. Agricultural Research 8 (4): 47-59. (in Persian with English abstract).
21. Moshiri, F., Ardalan, M., Tehrani, M. M., and Savaghebi, Gh. 2010. Zinc efficiency of wheat cultivars in a calcareous soil with low zinc status. Journal of Water and Soil 24 (1): 145-153. (in Persian with English abstract).
22. Munns, R., and James, A. 2003. Screening methods for salinity tolerance: a case study with tetraploid wheat. Plant and Soil 253: 201-218.
23. Pahlavan Rad, M. R., Keykha, G., and Naroui Rad, M. R. 2008. Effects of application of Zn, Fe and Mn on yield, yield component, nutrient concentration and uptake in wheat grain. Pajouhesh and Sazandegi 79: 142-150. (in Persian with English abstract).
24. Potarzycki, J., and Grzebisz, M. 2009. Effect of zinc foliar application on grain yield of maize and its yielding components. Plant, Soil and Environment 55: 519-527.
25. Raesee, N., Vakili, S. M. A., Sarhady, G., and Rorkynegad, F. 2015. Effects of manure, iron and zinc fertilizers on yield and yield components of Cumin (*Cuminum cyminum* L.). Iranian Journal of Medicinal and Aromatic Plants 31 (1): 138-149. (in Persian with English abstract).
26. Rodriguez-Lucena, P., Apaolaza-Hernandez, L., Lucena, J. J. 2010. Comparison of iron chelates and complexes supplied as foliar sprays and in nutrient solution to correct iron chlorosis of soybean. Journal of Plant Nutrition and Soil Science 173: 120-126.
27. Sadeghzadeh, B. 2013. A review of zinc nutrition and plant breeding. Journal of Soil Science and Plant Nutrition 13 (4): 905-927.
28. Sadeghzadeh, B., and Rengel, Z. 2011. Zinc in soils and crop nutrition. In: Hawkesford M. J, Barraclough, P. B. (eds.), The molecular and physiological basis of nutrient use efficiency in crops. Wiley: 335-375.
29. Sadeghzadeh, B., Rengel, Z., and Li, C. 2009. Differential zinc efficiency of barley genotypes grown in soil and chelator-buffered nutrient solution. Journal of Plant Nutrition 32 (10): 1744 -1767.
30. Sadeghzadeh, B., Sadeghzadeh, N., and Sepehr, E. 2016. Barley genotypes differing in zinc efficiency when grown in various soil types. International Journal of Plant and Soil Science 12: 1-13.
31. Salgueiro, M. J., Zubillaga, M., Lysionek, A., Sarabia, M. I., Caro, R., De Paoli, T., Hager, A., Weill, R., and Boccio, J. 2006. Zinc as an essential micronutrient: a review. Nutrition Research 20 (5): 737-755.
32. Seilsepour, M. 2003. The effect of micronutrients iron, zinc and manganese on yield and yield components of wheat in saline conditions. Proceedings of the 7th Congress of Crop Sciences, Karaj, Iran. (in Persian).
33. Seilsepour, M. 2008. The study of Fe and Zn effects on quantitative and qualitative parameters of winter wheat and determination of critical levels of these elements in Varamin plain soils. Pajouhesh and Sazandegi 76: 123-133. (in Persian with English abstract).
34. Slafer, G. A., and Savin, R. 1994. Sink relationships and grain mass at different positions within the spike in wheat. Field Crops Research 37: 39-49.

35. Slafer, G. A., and Araus, J. L. 2007. Physiological traits for improving wheat yield under a wide range of conditions. In: Spiertz, J. H. J., Struik, P. C., van Laar H. H. (Eds.), Scale and Complexity in Plant Systems Research. Gene-Plant-Crop Relations: 147-156.
36. Soufizadeh, S., Zand, E., Rahimian Mashhadi, H., and Deihimfard, R. 2007. Comparison of grain yield, nitrogen use efficiency and protein content of some old and new wheat varieties. Iranian Journal of Agricultural Sciences 1 (20): 13-37. (in Persian with English abstract).
37. Soufizadeh, S., Zand, E., Deihimfard, R., and Esmailzade, S. 2014. Investigation of changes in grain yield and some morphophysiological characteristics of wheat (*Triticum aestivum* L.), maize (*Zea mays* L.) and rice (*Oryza sativa* L.) in recent decades in Iran. Iranian Journal of Field Crops Research 12 (3): 343-359. (in Persian with English abstract).
38. Stein, A. J. 2010. Global impacts of human mineral malnutrition, Plant and Soil 335: 133-154.
39. Thalooth, M., Tawfik, M., and Magda Mohamed, H. 2006. A comparative study on the effect of foliar application of Zinc, Potassium and Magnesium on growth, yield and some chemical constituents of Mungbean plants growth under Water stress conditions. World Journal of Agricultural Sciences 2: 37-46.
40. Welch, R. M., and Graham, R. D. 2004. Breeding for micronutrients in staple food crops from a human nutrition perspective. Journal of Experimental Botany 55: 353-364.
41. Yang, X. W., Tian, X. H., Gale, W. J., Cao, Y. X., Lu, X. C., and Zhao, A. Q. 2011. Effect of soil and foliar application on zinc concentration and bioavailability in wheat grain grown on potentially zinc-deficient soil. Cereal Research Communication 39 (4): 535-543.
42. Ye, Y. L., Wang, G. L., Huang, Y. F., Zhu, Y. J., Meng, Q. F., Chen, X. P., Zhang, F. S., and Cui, Z. L. 2011. Understanding physiological processes associated with yield-trait relationships in modern wheat varieties. Field Crops Research 124: 316-322.
43. Yilmaz, A., Ekiz, H., Torun, B., Guttekin, I., Karanlik, S., Bagci, S. A., and Cakmak, I. 1997. Effect of different zinc application methods on grain yield and zinc concentration in wheat cultivars grown on zinc deficient calcareous soils. Journal of Plant Nutrition 20: 461-471.
44. Ziaeian, A. H., and Malakouti, M. J. 2001. Effects of Fe, Mn, Zn and Cu fertilization of wheat in the calcareous soils of Iran. In W.J. Horst et al. (Eds.) Plant Nutrition-Food Security and Sustainability of Agro-Ecosytems 840-841.

Iranian Journal of Field Crops Research
Vol. 16, No. 1, Spring. 2018, p. 203-216

نشریه پژوهشهای زراعی ایران
جلد ۱۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۷، ص. ۲۱۶-۲۰۳

Response of Some Bread Wheat Cultivars to Foliar Application of Zn and Fe Different Forms in Two Locations with Different Soil Properties

E. Arazmjoo[1*]- M. A. Behdani[2]- S. Mahmoodi[2]- B. Sadeghzadeh[3]
Received: 17-01-2017
Accepted: 12-07-2017

Introduction

Zinc (Zn) and iron (Fe) are essential mineral nutrients for plant and human growth, and dietary Zn and Fe deficiencies are a worldwide nutritional problem. The Recommended Dietary Allowance (RDA) of Zn and Fe are 15 mg and 10 mg per day for human, respectively. However, micronutrient deficiencies affect more than half of the world's population, especially women and preschool children. Iron is one of the most important micronutrients, and approximately two billion people suffer from iron deficiency worldwide. Zinc deficiency is also considered to be quite common and affects newborn, children, pregnant women and elderly. Micronutrient malnutrition in human in developing countries is derived from deficiencies of these elements in staple food. It is believed that increasing the micronutrient concentrations in these crops could increase the dietary intake of these elements in these regions significantly. More than 80% of arable soils in Iran are zinc-deficient with an average yield depression of around 50%. It is, therefore, highly important to develop cost-effective and quick solutions to the Zn and Fe deficiency problem.

Materials and Methods

In order to evaluate the effect of foliar application of zinc and iron different forms on yield components, phonological and morphological traits and grain yield of some wheat cultivars in two locations with different physico-chemical soil properties, two experiments in factorial arranged in randomized complete block design with three replications conducted during 2015-16 cropping season. Experimental treatments were included: wheat cultivars Roshan, Roshan Back cross (old cultivars), Bam and Ofogh (new cultivars), zinc application in three levels of foliar application of water (control), zinc sulfate and chelated zinc and iron application in three levels of foliar application of water (control), iron sulfate and chelated iron (equivalent to 2.5 kg ha^{-1}). The first experiment was conducted at the Research Farm of Birjand University located in Amirabad region which the soil texture was sandy clay loam, with 8.1 pH, 0.15% organic matter, 30 ppm available P and 184 ppm available K. The second experiment was conducted at the South Khorasan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center located in Mohammadieh region which the soil texture was loam, with 7.6 pH, 0.54% organic matter, 30 ppm available P and 140 ppm available K. At the end of growth stage wheat traits included days to heading, days to physiological maturity, grain filing period, plant height, spike length, peduncle length, number of grain per spike, 1000 grains weight, grain yield, biomass and harvest index were measured. Data analyses were performed using two-way analysis of variance (ANOVA) with SAS 9.1. Means of treatments were compared between locations, cultivars and foliar application of zinc and iron according to protected Least Significance Differences (LSD) test at the 5% level.

Results and Discussion

Results showed that location had a significant effect on all traits except for number of grains per spike. Grain yield and yield components were higher in soil of Mohammadieh against Amirabad. Investigated cultivars also were significantly different in all traits but days to heading and biomass. The higher number of grain per spike, grain yield and harvest index and relatively lower 1000 grains weight were related to new wheat cultivars. New cultivars also possessed less height and peduncle length and more grain filling period and spike length. Zinc foliar application significantly increased plant height, spike length, number of grain per spike, 1000 grains weight, grain yield and biomass but no significant effects were observed on days to heading and maturity, grain filing period, peduncle length and harvest index. Zinc sulfate treatment increased grain yield and biomass by 9.6

1, 2 and 3- Ph.D. Student, Professor and Associate professor, Department of Agronomy and Plant Breeding, University of Birjand, respectively
4- Associated Professor, Dryland Agricultural Research Institute (DARI), Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO), Maragheh, Iran
(*- Corresponding Author Email: Elias.arazmjo@Gmail.com)

and 8.2 percent and chelated zinc increased these traits by 6.7 and 4.1 percent compared to control treatment, respectively. Iron foliar application significantly increased plant height and grain yield with no significant effects on other measured traits.

Conclusions

Foliar application of zinc and iron can improve growth traits and grain yield; and foliar application of zinc and iron sulfate had better result contrasting these nutrients chelated forms especially in Amirabad region with higher pH and EC. Finally according to the results of this study, cultivating new cultivars of Bam and Ofogh and foliar application of zinc and iron sulfate in similar climate, especially in saline condition, are suggested for wheat production.

Keywords: Grain yield components, Micronutrients, Salinity, Yield